

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-004336

(43)Date of publication of application : 12.01.2001

(51)Int.Cl.

G01B 11/24  
G01B 9/02

(21)Application number : 11-173768

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 21.06.1999

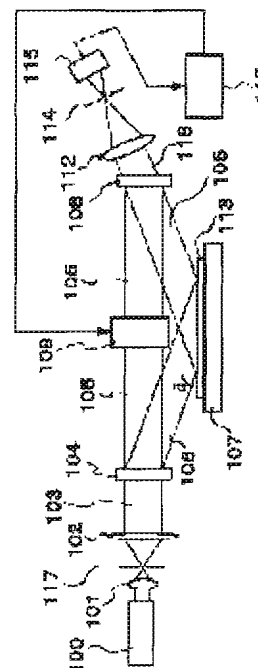
(72)Inventor : SAKUTA HIRONOBU

## (54) OBLIQUE INCIDENCE INTERFEROMETER

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an oblique incidence interferometer for accurately detecting a phase difference across a whole face to be measured in a simple constitution.

**SOLUTION:** This device is provided with a light source 100, a separating part 104 for dividing lights from the light source 100 into a reference light flux 105 and a measurement light flux 106, and for making the measurement light flux 106 obliquely incident to a face 113 to be measured, an interfering part 108 for overlapping and interfering a reflected light flux from the face 113 to be measured and the reference light flux 105, and a phase modulating part 109 for modulating the phase of the reference light flux 105.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The oblique incidence interferometer characterized by having the interference section in which lay the light source, the separation section which divides the light from said light source into a reference beam bundle and a measuring beam bundle, turns said measuring beam bundle to a measuring plane-ed, and is made to put slanting ON, and the reflected light bundle and said reference beam bundle from said measuring plane-ed, and it is made to interfere, and the phase modulation section which modulates the phase of said reference beam bundle.

[Claim 2] In an oblique incidence interferometer according to claim 1 said phase modulation section It has the parallel monotonous member arranged in the optical path of said reference beam bundle, and a mechanical component. Said parallel monotonous member In order that it may consist of rust form prism which carried out contiguity arrangement of the slant faces and which goes away two and said mechanical component may change the thickness of said parallel monotonous member, it is the oblique incidence interferometer characterized by moving the rust form prism which goes away along said slant face one side at least.

[Claim 3] The detecting element which detects the reinforcement of the interference fringe of the interference light which said interference section made interfere in an oblique incidence interferometer according to claim 1, It has the processing section which incorporates the reinforcement which said detecting element detected and searches for the configuration of a measuring plane-ed. Said processing section The oblique incidence interferometer characterized by controlling the amount of phase modulations which said phase modulation section modulates, incorporating the reinforcement of the interference light corresponding to said amount of phase modulations, and searching for the configuration of a measuring plane-ed by the striped scanning method.

[Claim 4] It is the oblique incidence interferometer characterized by amending the configuration of said measuring plane-ed for which it asked with the wave aberration data of said phase-modulation component which measured said processing section beforehand in the oblique incidence interferometer according to claim 3.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the oblique incidence interferometer which measures the field configuration of a plane substrate by irradiating a measuring beam-ed by oblique incidence to a measuring plane-ed.

[0002]

[Description of the Prior Art] Before, the oblique incidence interferometer is widely used for profile irregularity measurement of a large-scale flat-surface glass substrate, a silicon wafer photo mask, a magnetic disk, etc. The optical system using a rectangular prism as optical system of an oblique incidence interferometer and the optical system using a diffraction grating are known especially well. The optical system of the oblique incidence interferometer using a diffraction grating is briefly explained using drawing 3.

[0003] With the configuration of drawing 3, incidence of the collimated flux of light which was emitted from the light source (un-illustrating) with a coherency is carried out to the 1st diffraction grating 10 in which the grid was formed so that it may deviate to the space inboard of drawing 3, and it is divided into the flux of light 11 of the zero-order diffracted light, and the flux of light 12 of the primary diffracted light. After the measuring plane 13-ed irradiates as a measuring beam bundle and the configuration of the measuring plane 13-ed becomes irregular, incidence of the flux of light 12 of the primary diffracted light is carried out to the 2nd diffraction grating 14. On the other hand, incidence of the flux of light 11 of the zero-order diffracted light is directly carried out to the 2nd diffraction grating 14 as a reference beam bundle. The grid pattern of the 2nd diffraction grating 14 is the same grid pattern as the 1st diffraction grating 10, and it is formed so that the grid pattern of the 1st diffraction grating 10 may moreover be faced. By diffracting by the 2nd diffraction grating 14, the flux of light 11 of the zero-order diffracted light and the flux of light 12 of the primary diffracted light are piled up on an optical path with the 2 same flux of lights 11 and 12, and the two flux of lights 11 and flux of lights 12 interfere in them by this, and they turn into the interference light bundle 15. By carrying out image formation of this interference light bundle 15 on a screen 17 according to the image formation optical system 31, an interference fringe can be observed on a screen 17.

[0004] In such an oblique incidence interferometer of a configuration, when the incident angle to the measuring plane 13-ed of the measuring beam bundle 12 is set to theta and the irregularity of height  $\Delta d$  is in the measuring plane 13-ed, compared with the case where there is no irregularity, the phase contrast of  $2\pi(2\Delta d \cos \theta) / \lambda$  arises. On the other hand, in the Fizeau interferometer of the usual vertical incidence, since it becomes the phase contrast of  $2\pi(2\Delta d) / \lambda$ , it will be said that oblique incidence interference tends to measure big irregularity. On the contrary, it is disadvantageous when it is going to measure small irregularity with high precision.

[0005] Therefore, raising the accuracy of measurement of an oblique incidence interferometer is proposed by applying the striped scanning method well applied to the Fizeau interferometer or the Twyman Green interferometer to an oblique incidence interferometer. For example, the oblique incidence interferometer indicated by JP,4-221704,A attaches an actuator 41 in the bottom of a device under test 13 like drawing 4, and when only the amount of arbitration moves a device under test 13, it gives a phase modulation to the measuring beam bundle 12. Thus, when the phase contrast of arbitration is given between a reference beam bundle and a measuring beam bundle, the reinforcement of the interference light at the time of noting one point of an interference fringe serves as a signal modulated in

sine wave according to phase contrast (axis of abscissa) ( drawing 5 ). That is, the initial phase of one point to which its attention was paid when presupposing that the phase contrast of the given arbitration is  $0, \pi / 3\pi [ 2\pi \text{ and } ]/2$  and setting interference fringe reinforcement corresponding to it to I1, I2, I3, and I4 is  $\phi = \tan^{-1} (I2-I4) / (I1-I3)$ .

Since it can ask more, measurement of a subfringe is attained. Since it can cross throughout an interference fringe and phase contrast can be uniformly given when the whole device under test 13 is made to go up and down with an actuator 41 like drawing 4 , the striped scanning method is applied to the whole surface, and it becomes possible to carry out subfringe measurement over the whole surface.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] When you are going to make it go up and down the whole device under test 13 with an actuator 41 as indicated by above-mentioned JP,4-221704,A, it is necessary to make a device under test 13 go up and down correctly covering the whole exposure area. It is because this difference will lead to a measurement error as it is if a difference is in the amount of upper and lower sides in the both ends of a device under test 13. However, since the area of a device under test 13 is a large area, the oblique incidence interferometer is quite difficult for making it fluctuate correctly and uniformly over the whole surface. For this reason, if it is going to realize the configuration of drawing 4 , the very highly precise actuator 41 will be required, and it will be hard to avoid that equipment becomes cost quantity.

[0007] This invention solves the above-mentioned technical problem, though it is an oblique incidence interferometer, is an easy configuration and aims at offering the oblique incidence interferometer which can detect phase contrast correctly over the whole surface of a measuring plane-ed.

[0008]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, according to this invention, the following oblique incidence interferometers are offered.

[0009] That is, the light from the light source and said light source is divided into a reference beam bundle and a measuring beam bundle, said measuring beam bundle is turned to a measuring plane-ed, and it is the oblique incidence interferometer characterized by having the interference section in which lay the separation section made to put, and the reflected light bundle and said reference beam bundle from said measuring plane-ed, and it is made to interfere, and the phase modulation section which modulates the phase of said reference beam bundle slanting ON.

[0010]

[Embodiment of the Invention] The gestalt of 1 operation of this invention is explained using drawing 1 etc.

[0011] The oblique incidence interferometer of the gestalt of this operation is equipped with a laser light source 100, and the condenser lens 101 arranged in order on the optical axis, a spatial filter 117, a collimator lens 2 and the 1st diffraction grating 104. The 1st diffraction grating 104 is arranged in order to divide the light from a laser light source 100 into the measuring beam bundle 105 and the reference beam bundle 106. The stage 107 for carrying a device under test 113 in the location where the measuring beam bundle 106 is irradiated is arranged. The sense is set that the flux of light 106 carries out incidence of the stage 107 to a device under test 113 from across by the incident angle theta. On the other hand, in the middle of the optical path of the reference beam bundle 105, the phase modulation component 109 only for the amount of arbitration to shift the phase of the reference beam bundle 106 is arranged.

[0012] Pile up the reference beam bundle 105 and the measuring beam bundle 106, the location as for which the reference beam bundle 105 which passed the phase modulation component 109, and the measuring beam bundle 106 reflected by the device under test 113 carry out incidence is made to interfere in them on the same optical path, and the 2nd diffraction grating 108 for considering as the interference light bundle 118 is arranged. The grid pattern (a grid cross-section configuration and grid pitch) of the 2nd diffraction grating 108 is the same configuration as the grid pattern of the 1st diffraction grating 104, and both the direction of this grid pitch and the direction of the grid pitch of the 1st diffraction grating 104 are the directions of [ in the space of drawing 1 ]. On the optical axis with which the interference light bundle 118 advances, a condenser lens 112, a spatial filter 114, and CCD115 are arranged. The computer 116 for processing image pick-up data is connected to CCD115.

[0013] The configuration of the phase modulation component 109 is further explained using drawing 2 . The phase modulation component 109 is a configuration which approached and has arranged the slant faces of the rust form prism 201 and 202 with which the two same configurations created with the same transparent quality of the material to the outgoing radiation light of the light source 100 go away.

Approaching, the rust form prism 201 and 202 becomes parallel plate-like [ of thickness  $t$  ] please arrange. This parallel plate-like wedge shape prism 201 and 202 is inserted into the reference beam bundle 105 so that an incidence side flat surface and an outgoing radiation side flat surface may become perpendicular to the optical axis of the reference beam bundle 105.

[0014] Moreover, the actuator 203 for carrying out parallel translation along the inclination direction of a slant face is attached in the rust form rhythm 201 which goes away one side. If an actuator 203 shifts the wedge shape prism 201, since parallel monotonous thickness  $t$  will change in connection with this, the optical path length of the reference beam bundle 105 who passes an parallel plate changes, and the reference beam bundle 105 receives a phase modulation. Thereby, the phase modulation according to thickness  $t$  can be uniformly given to the reference beam bundle 105 whole. The actuator 203 is connected to the computer 116 and the actuation is controlled.

[0015] In order that only the amount of modulations of arbitration (for example,  $\pi$  [  $0\pi/2\pi$  and  $(3\pi)/2$  ] may make a computer 116 modulate the phase of the reference beam bundle 105, the relation between the amount of phase modulations and the movement magnitude of the wedge shape prism 201 is beforehand stored in the memory to build in. A computer 116 reads the movement magnitude of the wedge shape prism 201 corresponding to the required amount of modulations, and it is directed to an actuator 203 that only this movement magnitude moves the wedge shape prism 201.

[0016] Below, the oblique incidence interferometer of the gestalt of this operation explains actuation of each part in the case of measuring the shape of surface type of a device under test 113.

[0017] It is condensed with a lens 101 and the laser beam emitted from the laser light source 100 is removed in disturbance light by passing the spatial filter 117 in the location of a beam waist. The beam which emits from this spatial filter 117 is changed into the parallel flux of light 103 by the lens 102. The parallel flux of light 103 is divided into the zero-order diffracted light and the primary diffracted light, when incidence is carried out to the 1st diffraction grating 104 and this diffracts. The 1st diffraction grating 104 is optimized so that only the zero-order diffracted light and the primary diffracted light may be produced.

[0018] Among these diffracted lights, as a measuring beam bundle 106, after carrying out oblique incidence to the measuring plane-ed of a device under test 113 by the incident angle  $\theta$  and modulating a phase according to the configuration of the measuring plane-ed of a device under test 113, incidence of the primary diffracted light is carried out to the 2nd diffraction grating 108. On the other hand, as a reference beam bundle 105, incidence of the zero-order diffracted light is carried out to the phase modulation component 109, it penetrates this, and results in the 2nd diffraction grating 108. Since the phase modulation component 109 is parallel plate-like [ the rust form prism 201 and 202 which goes away two was joined to ] as mentioned above, the whole flux of light receives the phase modulation according to monotonous thickness  $t$  with it. [ parallel in case the reference beam bundle 105 penetrates this ]

[0019] Since it is formed in the 2nd diffraction grating 108 so that the same pattern as the grid pattern of the 1st diffraction grating 104 may become facing each other with the 1st diffraction grating 104, if the reference beam bundle 105 and the measuring beam bundle 106 carry out incidence to it, both will be diffracted in the same direction and will pile up on the same optical path. For this reason, it interferes in the reference beam bundle 105 and the measuring beam bundle 106, and the interference light bundle 118 is acquired. By condensing the interference light bundle 118 with a condenser lens 112, passing a spatial filter 114 by this, and carrying out image formation on CCD115, an interference fringe is formed on CCD115 and CCD115 picturizes this interference fringe.

[0020] A computer 116 is incorporated in the memory which builds in the interference fringe image which CCD115 picturized. At this time, a computer 116 is directed to the actuator 203 of the phase-modulation component 9, parallel monotonous thickness  $t$  is set as the thickness which only  $0\pi/2\pi$ , and  $(3\pi)/2$  make modulate the phase angle of the reference beam bundle 105, respectively, and the interference fringe image which CCD115 picturized each time is captured. The interference fringe image of four sheets which gave phase modulations  $0\pi/2\pi$ , and  $(3\pi)/2$  by this to the reference beam bundle 105 whole uniformly can be captured.

[0021] The reinforcement of the interference light of the point  $(x, y)$  of the arbitration on an interference fringe image Since it becomes the signal modulated in sine wave according to the amount of phase modulations like drawing 5, If the amounts  $0\pi/2\pi$  of phase modulations of the given arbitration and interference fringe reinforcement corresponding to  $(3\pi)/2$  are set to  $I_1(x, y)$ ,  $I_2(x, y)$ ,  $I_3(x, y)$ , and  $I_4(x, y)$ , respectively The initial phase of the point  $(x, y)$  is  $\phi = \tan^{-1} (I_2(x, y) - I_4(x, y)) / (I_1(x, y) - I_3(x, y))$ .

It is expressed with a \*\* type. A computer 116 asks for an initial phase  $\phi$  by asking for reinforcement I1 (x y), I2 (x y), I3 (x y), and I4 (x y), and substituting it for an upper type about the point (x y) that the captured interference fringe image of four sheets corresponds. By asking for this initial phase  $\phi$  about each point on an interference fringe image, the shape of surface type of a device under test 113 is searched for. Thus, the shape of surface type of a device under test 113 is measurable in the oblique incidence interferometer of the gestalt of this operation with high precision by the striped scanning method by arranging the phase modulation component 109 in the middle of the reference beam bundle 105, and giving a phase modulation to the reference beam bundle 105. At this time, since the cross section of the reference beam bundle 105 is smaller than the exposure area of the measuring beam bundle 106 to a device under test 113, it can carry out the phase modulation of the reference beam bundle 105 whole with high precision with an easy configuration as compared with the case where the phase modulation of the measuring beam bundle 106 is carried out.

[0022] Moreover, since what set the wedge shape prism 201 and 202 is used as a phase modulation component 109 in the case of the gestalt of this operation, a phase modulation can be easily given only by moving one prism 201 in the direction perpendicular to the optical axis of the reference beam bundle 105.

[0023] In addition, with the gestalt of above-mentioned operation, although the premise of being so minute that wave aberration being disregarded has explained, the wave front of the reference beam bundle 105 which penetrated the phase modulation component 109 can amend the effect of the wave aberration produced in the reference beam bundle 105 by the phase modulation component 109 by computer 116, when measuring the device under test 113 with large size, or when measuring to high degree of accuracy more. This wave aberration originates in refractive-index distribution of the material of the rust form prism 201 and 202, the heterogeneity of profile irregularity, etc. which go away phase modulation component 109. Then, in order to amend the effect of wave aberration, the transmitted wave profile irregularity data of the phase-modulation component 109 are beforehand measured with another interferometer. And the configuration of a device under test 113 is amended by deducting the wave-front precision data of the phase-modulation component 109 from the wave-front data called for from the interference fringe image measured with this interferometer. In addition, when using this amendment approach, in order to make it in agreement with the x directions of [ at the time of attaching the x directions of the phase modulation component 109 at the time of measuring wave aberration with another interferometer, and the direction of y in the oblique incidence interferometer of the gestalt of this operation ], and the direction of y, it is desirable to attach to the prism 201 and 202 of the phase modulation component 109 the fiducial marks 204 and 205 which show x directions and the direction of y, and to carry out alignment to it by this.

[0024] In addition, since change of the wave aberration at the time of modulating a phase with the phase modulation component 109 has the small movement magnitude of wedge shape prism, the accuracy of measurement is hardly influenced.

[0025] Moreover, as an approach of asking for the wave aberration by the phase modulation component 109, everything but the approach of searching for with another interferometer as mentioned above can also be asked with the oblique incidence interferometer of the gestalt of this operation. In this case, the authentic sample for which there is no irregularity in a front face, or the location of a device under test 113 understands the shape of tothing beforehand is arranged, and the shape of tothing of a device under test 113 is searched for by the above-mentioned approach from the obtained interference fringe. The wave aberration of the phase modulation component 109 can be obtained from the shape of tothing of the called-for device under test 113 by deducting the configuration of an authentic sample. Therefore, at the time of actual measurement, by deducting this wave aberration from measured value, the effect of wave aberration can be amended and the configuration of a device under test 113 can be searched for with high precision.

[0026] In addition, although what piled up rust form prism 201 and 202 like drawing 2 which goes away two as a phase modulation component 109 was used with the gestalt of the above-mentioned implementation, it is also possible to use other phase modulation components. For example, what fixed spacing of facing each other and the lower part for the parallel plates 601 and 602 of the same quality of the material of two sheets and thickness with the fixture 604, and made upside spacing adjustable with the actuator 603 like drawing 6 (a) can be used. With this configuration, the parallel plates 601 and 602 serve as +theta and arrangement of which -theta inclination is done to the optical axis of the reference beam bundle 105, respectively. The optical path of one beam of light of the reference beam bundle 105

becomes like drawing 6 (b), and since the optical path length (the length between AB(s) and between CDs) who passes the parallel plates 601 and 602 with the magnitude of  $\theta$  changes, a phase modulation can be given to the reference beam bundle 105 by making an actuator 603 expand and contract and doing  $\Delta\theta$  change of the magnitude of  $\theta$ .

[0027] Moreover, prism 202 can be removed from the phase-modulation component 109 of drawing 2, and only the wedge shape prism 201 and an actuator 203 can also be used as a phase-modulation component. Since the optical path length who passes a wedge when this configuration also moves an actuator 203 at right angles to the optical axis of the reference beam bundle 105 changes, the amount of phase modulations according to movement magnitude can be given. In addition, with this configuration, since the optical axis of the reference beam bundle 105 after penetrating the wedge shape prism 201 inclines to the optical axis before transparency, it is necessary to change into the configuration which can pile up the reference beam bundle 105 toward which the optical axis inclined the grid pattern of the 2nd diffraction grating 108, and the measuring beam bundle 106.

[0028] Moreover, as a phase modulation component 109, thickness can use the plate which is changing stair-like, and two or more kinds of parallel plates which thickness  $t$  understands beforehand. A phase can be modulated by inserting these parallel plates into the reference beam bundle 105.

[0029] Furthermore, it is also possible to use the ingredient from which a refractive index changes with electric control as a phase modulation component 109, for example, liquid crystal and an optoelectronics material. The cell filled up with such an ingredient is arranged in the optical path of the reference beam bundle 105, electric field are impressed, and a refractive index is changed by modulating electric field. The optical path length of a reference beam bundle who passes this ingredient can be changed by this, and a phase modulation can be realized.

[0030] In addition, although the amount of phase modulations given to the reference beam bundle 105 is changed to  $0\pi/2\pi$  and four steps of  $(3\pi)/2$  and it is asking for the initial phase by count with the gestalt of above-mentioned operation based on the striped scanning method Since the oblique incidence interferometer of the gestalt of this operation can respond to the approach of searching for with the least square method from the data which carried out the phase modulation to the approach of searching for by count, or the multistage story etc. from the data made [ five or more steps ] to carry out a phase modulation, it can also use other count approaches of the striped scanning method.

[0031] Moreover, it is desirable to form an antireflection film in the slant face of the piled-up prism 201 and prism 202 with the phase modulation component 109 of drawing 2.

[0032] In addition, as a device under test 113 of the oblique incidence interferometer of the gestalt of this operation, a large-scale flat-surface glass substrate, a silicon wafer photo mask, a magnetic disk, etc. are the bodies of almost a plane, there is no extreme granularity in a field and the body which has a suitable reflection factor is suitable. Usually, if a component to which the diffraction efficiency of the primary diffracted light becomes high to the zero-order diffracted light of the 1st diffraction grating 104 is used since the reflection factor is not high when measuring the flatness of these plane bodies, it is possible for the contrast of an interference fringe to go up and to raise the accuracy of measurement more.

[0033]

[Effect of the Invention] As mentioned above, according to this invention, the oblique incidence interferometer which can detect phase contrast correctly over the whole surface of a measuring plane-ed with an easy configuration can be offered.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

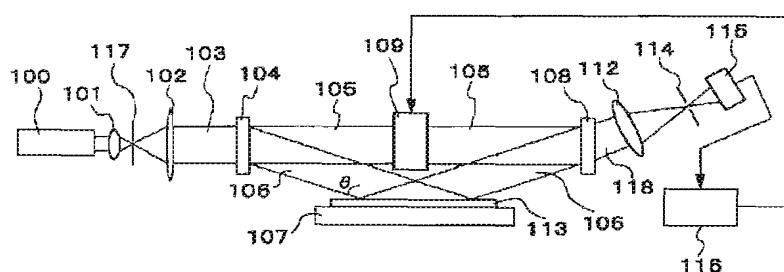
JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

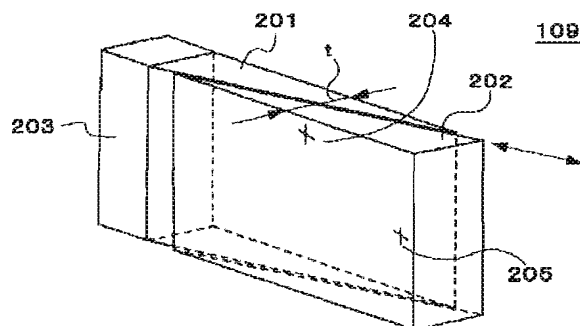
[Drawing 1]

図 1



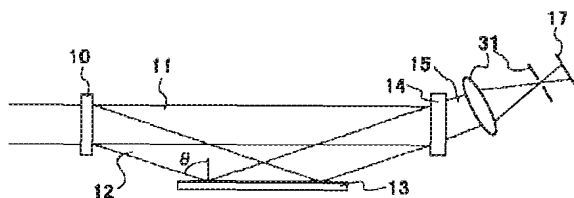
[Drawing 2]

図 2



[Drawing 3]

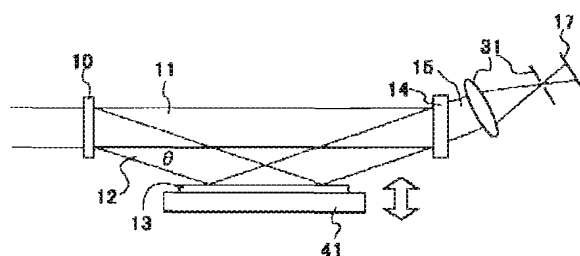
図 3



[Drawing 4]

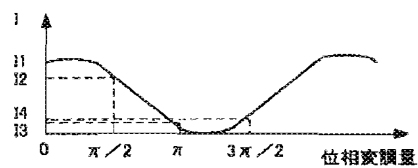


図 4



[Drawing 5]

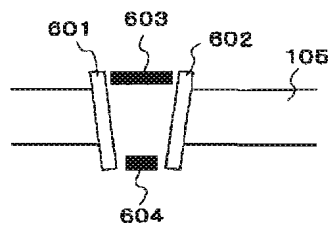
図 5



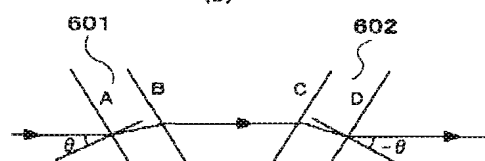
[Drawing 6]

図 6

(a)



(b)



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-4336

(P2001-4336A)

(43) 公開日 平成13年1月12日 (2001.1.12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 1 B 11/24

9/02

識別記号

F I

G 0 1 B 11/24

9/02

テームト\* (参考)

D 2 F 0 6 4

2 F 0 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平11-173768

(22) 出願日 平成11年6月21日 (1999.6.21)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 作田 博伸

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100084032

弁理士 三品 岩男 (外1名)

Fターム(参考) 2F064 AA09 BB07 CC04 EE01 FF01

GG21 GG49 GG51 HH03 HH08

2F065 AA49 BB01 CC03 CC18 CC19

DD03 FF52 GG04 HH12 JJ03

JJ26 LL04 LL42 QQ31 UU07

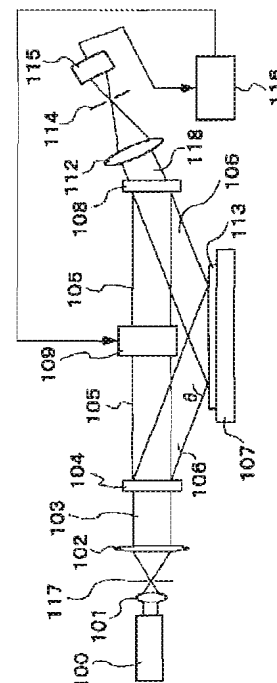
(54) 【発明の名称】 斜入射干渉計

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構成で、被測定面の全面にわたって正確に位相差を検出することのできる斜入射干渉計を提供する。

【解決手段】 光源100と、光源100からの光を参照光束105と測定光束106とに分離し、測定光束106を被測定面113に向けて斜入射させる分離部104と、被測定面113からの反射光束と参照光束105とを重ね合わせて干渉させる干渉部108と、参照光束105の位相を変調させる位相変調部109とを有する。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】光源と、前記光源からの光を参照光束と測定光束とに分離し、前記測定光束を被測定面に向けて斜入射させる分離部と、前記被測定面からの反射光束と前記参照光束とを重ね合わせて干渉させる干渉部と、前記参照光束の位相を変調させる位相変調部とを有することを特徴とする斜入射干渉計。

【請求項2】請求項1に記載の斜入射干渉計において、前記位相変調部は、前記参照光束の光路中に配置された平行平板部材と、駆動部とを有し、前記平行平板部材は、斜面同士を近接配置させた2つのくさび形プリズムからなり、前記駆動部は、前記平行平板部材の厚さを変化させるために、少なくとも一方のくさび形プリズムを前記斜面に沿って移動させることを特徴とする斜入射干渉計。

【請求項3】請求項1に記載の斜入射干渉計において、前記干渉部が干渉させた干渉光の干渉縞の強度を検出する検出部と、前記検出部の検出した強度を取り込んで被測定面の形状を求める処理部とを有し、前記処理部は、前記位相変調部が変調させる位相変調量を制御し、前記位相変調量に対応する干渉光の強度を取り込んで縞走査法により被測定面の形状を求めることを特徴とする斜入射干渉計。

【請求項4】請求項3に記載の斜入射干渉計において、前記処理部は、予め測定しておいた前記位相変調素子の波面収差データにより、前記求めた被測定面の形状を補正することを特徴とする斜入射干渉計。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被測定面に対し斜入射で被測定光を照射することにより、平面状基板の面形状の計測を行う斜入射干渉計に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、斜入射干渉計は、大型平面ガラス基板・シリコンウェハ・フォトマスク・磁気ディスクなどの面精度測定に広く用いられている。斜入射干渉計の光学系としては、直角プリズムを用いる光学系と回折格子を用いる光学系が特に良く知られている。回折格子を用いる斜入射干渉計の光学系について図3を用いて簡単に説明する。

【0003】図3の構成では、可干渉性のある光源（不図示）から発せられたコリメートされた光束は、図3の紙面内方向に偏向するように格子が形成された第1の回折格子10に入射し、0次回折光の光束11と1次回折光の光束12に分割される。1次回折光の光束12は、測定光束として被測定面13に照射され、被測定面13の形状によって変調された後、第2の回折格子14に入射する。一方、0次回折光の光束11は、参照光束として直接第2の回折格子14に入射する。第2の回折格子14の格子模様は、第1の回折格子10と同じ格子模様

で、しかも第1の回折格子10の格子模様と向き合うように形成されている。0次回折光の光束11と1次回折光の光束12は、第2の回折格子14で回折されることにより、2光束11、12が同一の光路上に重ね合わせられ、これにより2つの光束11と光束12が干渉し、干渉光束15となる。この干渉光束15を結像光学系31によりスクリーン17上に結像させることにより、スクリーン17上で干渉縞を観測することができる。

【0004】このような構成の斜入射干渉計では、測定光束12の被測定面13への入射角を $\theta$ とすると、被測定面13に高さ $\Delta d$ の凹凸がある場合は、凹凸がない場合に比べ $2\pi(2\Delta d \cos \theta)/\lambda$ の位相差が生じる。これに対し、通常の垂直入射のフィゾー干渉計では $2\pi(2\Delta d)/\lambda$ の位相差になるため、斜入射干渉の方が大きな凹凸を計測しやすいということになる。逆に、小さな凹凸を高精度に測定しようとする場合には不利である。

【0005】そのため、フィゾー干渉計やトワイマン・グリーン干渉計によく適用される縞走査法を斜入射干渉計に適用することにより、斜入射干渉計の測定精度を向上させることが提案されている。例えば、特開平4-221704号公報に記載されている斜入射干渉計は、図4のように被測定物13の下にアクチュエータ41を取り付け、任意の量だけ被測定物13を移動させることにより測定光束12に位相変調を与える。このように、参照光束と測定光束との間に任意の位相差を与えた場合、干渉縞の1点に着目した場合の干渉光の強度が、位相差（横軸）に応じて正弦波的に変調された信号となる（図5）。すなわち、与えた任意の位相差が例えば $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ であるとし、それに対応した干渉縞強度をI1、I2、I3、I4とすると、着目した1点の初期位相は、

$$\phi = \tan^{-1} \left( (I2 - I4) / (I1 - I3) \right)$$

より求めることができるので、サブフリンジの計測が可能になる。図4のように被測定物13の全体をアクチュエータ41で上下させた場合には、干渉縞の全域に渡って一様に位相差を与えることができるため、全面に縞走査法を適用し、全面にわたってサブフリンジ計測することが可能となる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述の特開平4-221704号公報に記載されているように被測定物13の全体をアクチュエータ41で上下させようとする場合、照射面積全体にわたって被測定物13を正確に上下させる必要がある。というのは、被測定物13の両端における上下量に差があると、この差はそのまま測定誤差につながってしまうからである。しかしながら、斜入射干渉計は、被測定物13の面積が大面積であるため、その全面にわたって正確かつ一様に上下させることはかなり困難である。このため、図4の構成を実現しようとする

と、非常に高精度なアクチュエータ 41 が必要であり、装置がコスト高になることは避けがたい。

【0007】本発明は、上記課題を解決し、斜入射干渉計でありながら、簡単な構成で、被測定面の全面にわたって正確に位相差を検出することのできる斜入射干渉計を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明によれば、以下のような斜入射干渉計が提供される。

【0009】すなわち、光源と、前記光源からの光を参照光束と測定光束とに分離し、前記測定光束を被測定面に向けて斜入射させる分離部と、前記被測定面からの反射光束と前記参照光束とを重ね合わせて干渉させる干渉部と、前記参照光束の位相を変調させる位相変調部とを有することを特徴とする斜入射干渉計である。

【0010】

【発明の実施の形態】本発明の一実施の形態について図 1 等を用いて説明する。

【0011】本実施の形態の斜入射干渉計は、レーザ光源 100 と、その光軸上に順に配置された集光レンズ 101、空間フィルタ 117、コリメータレンズ 2、第 1 の回折格子 104 を備えている。第 1 の回折格子 104 は、レーザ光源 100 からの光を測定光束 105 と参照光束 106 に分離するために配置されている。測定光束 106 が照射される位置には、被測定物 113 を搭載するためのステージ 107 が配置されている。ステージ 107 は、被測定物 113 に光束 106 が入射角  $\theta$  で斜め方向から入射するようにその向きが定められている。一方、参照光束 105 の光路の途中には、参照光束 106 の位相を任意の量だけずらすための位相変調素子 109 が配置されている。

【0012】位相変調素子 109 を通過した参照光束 105 と、被測定物 113 で反射された測定光束 106 とが入射する位置には、参照光束 105 と測定光束 106 とを同一光路上に重ね合わせて干渉させ、干渉光束 118 とするための第 2 の回折格子 108 が配置されている。第 2 の回折格子 108 の格子模様（格子断面形状および格子ピッチ）は、第 1 の回折格子 104 の格子模様と同一の形状であり、この格子ピッチの方向ならびに第 1 の回折格子 104 の格子ピッチの方向は、共に図 1 の紙面内の方向である。干渉光束 118 の進行する光軸上には、集光レンズ 112、空間フィルタ 114、CCD 115 が配置されている。CCD 115 には、撮像データを処理するためのコンピュータ 116 が接続されている。

【0013】位相変調素子 109 の構成について図 2 を用いてさらに説明する。位相変調素子 109 は、光源 100 の出射光に対して透明な同じ材質で作成された同一形状の 2 つのくさび形プリズム 201、202 の斜面同

士を近接して配置した構成である。近接して配置されたくさび形プリズム 201、202 は、厚さ  $t$  の平行平板状になる。この平行平板状のくさび形プリズム 201、202 は、入射側平面および出射側平面が参照光束 105 の光軸に垂直になるように、参照光束 105 中に挿入されている。

【0014】また、一方のくさび形プリズム 201 には、斜面の傾斜方向に沿って平行移動させるためのアクチュエータ 203 が取り付けられている。アクチュエータ 203 がくさび形プリズム 201 をずらすと、これに伴って平行平板の厚さ  $t$  が変化するため、平行平板を通過する参照光束 105 の光路長が変化し、参照光束 105 は位相変調を受ける。これにより、参照光束 105 全体に厚さ  $t$  に応じた位相変調を一樣に与えることができる。アクチュエータ 203 は、コンピュータ 116 に接続されており、その動作が制御される。

【0015】コンピュータ 116 には、参照光束 105 の位相を任意の変調量（例えば  $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $(3\pi)/2$ ）だけ変調させるために、位相変調量とくさび形プリズム 201 の移動量との関係が、内蔵するメモリに予め格納されている。コンピュータ 116 は、必要な変調量に対応するくさび形プリズム 201 の移動量を読み出して、この移動量だけくさび形プリズム 201 を移動させるようにアクチュエータ 203 に指示する。

【0016】つぎに、本実施の形態の斜入射干渉計により、被測定物 113 の表面形状を測定する場合の各部の動作について説明する。

【0017】レーザ光源 100 から発せられたレーザビームは、レンズ 101 で集光され、ビームウェストの位置にある空間フィルタ 117 を通過することにより外乱光を除去される。この空間フィルタ 117 から発散するビームは、レンズ 102 により平行光束 103 に変換される。平行光束 103 は、第 1 の回折格子 104 に入射し、これによって回折されることにより、0 次回折光、1 次回折光に分離される。第 1 の回折格子 104 は、0 次回折光と 1 次回折光のみを生じるように最適化されている。

【0018】これら回折光のうち、1 次回折光は、測定光束 106 として、被測定物 113 の被測定面に入射角  $\theta$  で斜入射し、被測定物 113 の被測定面の形状に応じて位相が変調された後、第 2 の回折格子 108 に入射する。一方、0 次回折光は、参照光束 105 として、位相変調素子 109 に入射し、これを透過して第 2 の回折格子 108 に到る。位相変調素子 109 は、上述したように 2 つのくさび形プリズム 201、202 が合わさった平行平板状であるため、参照光束 105 は、これを透過する際に、平行平板の厚さ  $t$  に応じた位相変調を光束全体が受ける。

【0019】第 2 の回折格子 108 には、第 1 の回折格子 104 の格子模様と同じ模様が、第 1 の回折格子 10

4と向かい合わせになるように形成されているため、参照光束105と測定光束106が入射すると、両者は同じ方向に回折されて、同一の光路上に重ね合わせられる。このため、参照光束105と測定光束106とは干渉し、干渉光束118が得られる。これにより、干渉光束118を集光レンズ112により集光し、空間フィルタ114を通過させ、CCD115上に結像させることにより、CCD115上で干渉縞が形成され、CCD115はこの干渉縞を撮像する。

【0020】コンピュータ116は、CCD115が撮像した干渉縞画像を内蔵するメモリに取り込む。このとき、コンピュータ116は、位相変調素子9のアクチュエータ203に指示し、平行平板の厚さ $t$ を、参照光束105の位相を $0, \pi/2, \pi, (3\pi)/2$ だけ変調させる厚さにそれぞれ設定し、そのつどCCD115が撮像した干渉縞画像を取り込む。これにより、参照光束105全体に一樣に位相変調 $0, \pi/2, \pi, (3\pi)/2$ を与えた4枚の干渉縞画像を取り込むことができる。

【0021】干渉縞画像上の任意の点 $(x, y)$ の干渉光の強度は、図5のように位相変調量に応じて正弦波的に変調された信号となるため、与えた任意の位相変調量 $0, \pi/2, \pi, (3\pi)/2$ に対応した干渉縞強度をそれぞれ $I1(x, y), I2(x, y), I3(x, y), I4(x, y)$ とすると、その点 $(x, y)$ の初期位相は、
$$\phi = \tan^{-1} \left( (I2(x, y) - I4(x, y)) / (I1(x, y) - I3(x, y)) \right)$$

の式で表される。コンピュータ116は、取り込んだ4枚の干渉縞画像の対応する点 $(x, y)$ について、強度 $I1(x, y), I2(x, y), I3(x, y), I4(x, y)$ を求め、それを上式に代入することにより、初期位相 $\phi$ を求める。この初期位相 $\phi$ を干渉縞画像上の各点について求めることにより、被測定物113の表面形状を求める。このように、本実施の形態の斜入射干渉計では、参照光束105の途中に位相変調素子109を配置し、参照光束105に位相変調を与えることにより、縞走査法により、高精度に被測定物113の表面形状を計測することができる。このとき、参照光束105の断面積は、被測定物113への測定光束106の照射面積よりも小さいため、測定光束106を位相変調させる場合と比較して、簡単な構成で高精度に参照光束105全体を位相変調することが可能である。

【0022】また、本実施の形態の場合、位相変調素子109として、くさび形プリズム201、202を合わせたものを用いているため、一方のプリズム201を参照光束105の光軸に垂直な方向に移動させるだけで、簡単に位相変調を与えることができる。

【0023】なお、上述の実施の形態では、位相変調素子109を透過した参照光束105の波面は、波面収差が無視できるほど微小であるという前提で説明してきた

が、サイズの大きい被測定物113を測定する場合や、より高精度に測定を行う場合には、位相変調素子109により参照光束105に生じた波面収差の影響をコンピュータ116により補正することができる。この波面収差は、位相変調素子109のくさび形プリズム201、202の素材の屈折率分布や面精度の不均一性等に起因する。そこで、波面収差の影響を補正するために、予め位相変調素子109の透過波面精度データを別の干渉計で測定しておく。そして、本干渉計で測定した干渉縞画像より求められた波面データから位相変調素子109の波面精度データを差し引くことにより、被測定物113の形状を補正する。なお、この補正方法を用いる場合、別の干渉計で波面収差を測定する際の位相変調素子109の $x$ 方向、 $y$ 方向を、本実施の形態の斜入射干渉計に取り付ける際の $x$ 方向、 $y$ 方向と一致させる必要があるため、位相変調素子109のプリズム201、202に、 $x$ 方向、 $y$ 方向を示すフィデュシャルマーク204、205をつけ、これによりアライメントすることが望ましい。

【0024】なお、位相変調素子109で位相を変調する際の波面収差の変化は、くさび形プリズムの移動量が小さいため、測定精度にはほとんど影響しない。

【0025】また、位相変調素子109による波面収差を求める方法としては、上述のように別の干渉計で求める方法の他に、本実施の形態の斜入射干渉計で求めることもできる。この場合、被測定物113の位置に、表面に凹凸がないか、もしくは予め凹凸形状のわかっている基準試料を配置して、得られた干渉縞から被測定物113の凹凸形状を上述の方法で求める。求められた被測定物113の凹凸形状から、基準試料の形状を差し引くことにより、位相変調素子109の波面収差を得ることができる。よって、実際の測定時に、この波面収差を、測定値から差し引くことにより、波面収差の影響を補正することができる。高精度に被測定物113の形状を求めることができる。

【0026】なお、上記実施の形態では、位相変調素子109として、図2のような2つのくさび形プリズム201、202を重ね合わせたものを用いたが、他の位相変調素子を用いることも可能である。例えば、図6

(a)のように、2枚の同じ材質および厚さの平行平板601、602を向かい合わせ、下部の間隔を固定治具604で固定し、上部の間隔をアクチュエータ603で可変にしたものを用いることができる。この構成では、平行平板601、602がそれぞれ参照光束105の光軸に対して $+\theta, -\theta$ 傾斜する配置となる。参照光束105の1本の光線の光路は、図6(b)のようになり、 $\theta$ の大きさによって平行平板601、602を通過する光路長(AB間およびCD間の長さ)が変化するため、アクチュエータ603を伸び縮みさせて $\theta$ の大きさを $\Delta\theta$ 変化させることにより参照光束105に位相変調を与

えることができる。

【0027】また、図2の位相変調素子109からプリズム202を取り外し、くさび形プリズム201とアクチュエータ203のみを位相変調素子として用いることもできる。この構成もアクチュエータ203を参照光束105の光軸に垂直に移動させることにより、くさびを通過する光路長が変化するため、移動量に応じた位相変調量を与えることができる。なお、この構成では、くさび形プリズム201を透過した後の参照光束105の光軸が、透過前の光軸に対して傾斜してしまうため、第2

【0028】また、位相変調素子109としては、厚さが階段状に変化している平板や、予め厚さ $t$ のわかっている複数種類の平行平板を用いることができる。これらの平行平板を参照光束105中に挿入することにより、位相を変調させることができる。

【0029】さらに、位相変調素子109としては、電気的な制御により屈折率が変化する材料、例えば液晶や電気光学材料を用いることも可能である。このような材料を充填したセル等を参照光束105の光路中に配置し、電界を印加し、電界を変調させることにより屈折率を変化させる。これにより、この材料を通過する参照光束の光路長を変化させることができ、位相変調が実現できる。

【0030】なお、上述の実施の形態では、参照光束105に与える位相変調量を0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $(3\pi)/2$ の4段階に変化させ、縞走査法に基づいて初期位相を計算により求めているが、本実施の形態の斜入射干渉計は、5段階以上に位相変調させたデータから計算で求める方法や多段階に位相変調させたデータから最小二乗法で求める方法等にも対応可能であるので、縞走査法の他の計算方法を用いることも可能である。

【0031】また、図2の位相変調素子109では、重ね合わせられたプリズム201とプリズム202の斜面に反射防止膜を形成しておくことが望ましい。

【0032】なお、本実施の形態の斜入射干渉計の被測定物113としては、大型平面ガラス基板・シリコンウェハ・フォトマスク・磁気ディスクなどほぼ平面状の物

体が適している。通常これらの平面状物体の平面度を測定する場合、その反射率は高くないため、第1の回折格子104の0次回折光に対し1次回折光の回折効率が高くなるような素子を用いると、干渉縞のコントラストが上がり、測定精度をより向上させることが可能である。

【0033】

【発明の効果】上述してきたように、本発明によれば、簡単な構成で、被測定面の全面にわたって正確に位相差を検出することのできる斜入射干渉計を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態の斜入射干渉計の構成を示すブロック図。

【図2】図1の斜入射干渉計の位相変調素子109の詳細な構成を示す斜視図。

【図3】従来の斜入射干渉計の構成を示すブロック図。

【図4】従来の縞走査法を用いる斜入射干渉計の構成を示すブロック図。

【図5】図4の斜入射干渉計により測定光束に位相変調を与えた場合の干渉縞の1点の光強度を示すグラフ。

【図6】(a) 本実施の形態の斜入射干渉計に用いることのできる位相変調素子の別の構成を示す説明図。

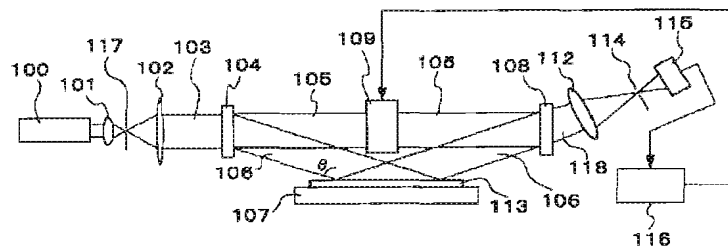
(b) 上記位相変調素子の位相変調の原理を示す説明図。

【符号の説明】

10・・・回折格子、13・・・被測定物、14・・・回折格子、31・・・結像光学系、17・・・スクリーン、41・・・アクチュエータ、100・・・レーザ光源、101・・・集光レンズ、102・・・コリメータレンズ、103・・・平行光束、104・・・回折格子、105・・・参照光束、106・・・測定光束、107・・・ステージ、108・・・回折格子、109・・・位相変調素子、112・・・集光レンズ、113・・・被測定物、114・・・空間フィルタ、115・・・CCD、116・・・コンピュータ、117・・・空間フィルタ、118・・・干渉光束、201、202・・・くさび形プリズム、203・・・アクチュエータ、204、205・・・マーク、601、602・・・平行平板、603・・・アクチュエータ、604・・・固定治具。

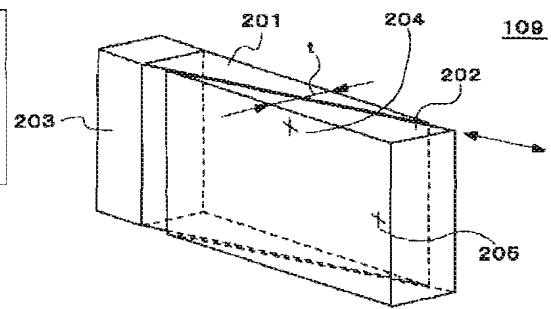
【図1】

図 1



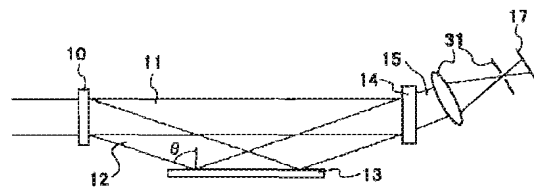
【図2】

図 2



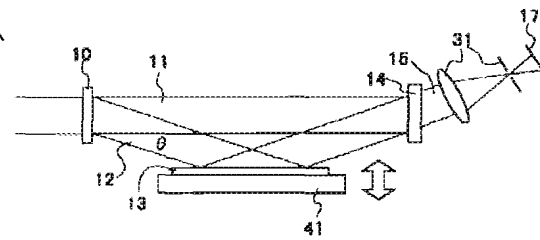
【図3】

図 3



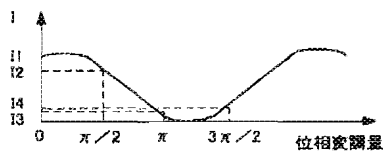
【図4】

図 4



【図5】

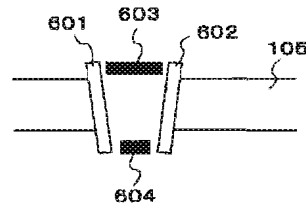
図 5



【図6】

図 6

(a)



(b)

